

基于共享数据源和组合应力寿命模型的电能表寿命预判

吴建平,廖绍成,曹君波

(国网浙江新昌县供电公司,浙江 绍兴 312500)

Life prediction of electric energy meter based on shared data sources and combined life stress model

WU Jianping, LIAO Shaocheng, CAO Junbo

(State Grid Zhejiang Xinchang Electric Power Company, Shaoxing 312500, China)

摘要:基于电能表计量中心生产调度系统、用采系统、营销系统等平台的共享数据源,分析了现场可靠性数据,故障模式,故障机理和外部诱导应力以及它们随时间变化的特征,建立了不同应力条件下的电能表的组合应力寿命预判模型。该寿命预判模型可以预判批次电能表的剩余寿命,使电能表暴露潜在故障,支撑批次电能表状态精准更换。此外,为故障快速排除和故障优先级处理提供理论和数据支持。

关键词:泛在电力物联网;剩余寿命预判;电能表;大数据;寿命应力模型

Abstract: Based on the data of measurement of integrated production dispatching system(MDS), electric data acquire system and marketing system, the field reliability data, fault mode, fault mechanism, external induced stress and their characteristics with time are analyzed, and the combined stress life prediction model of electric energy meter under different stress conditions is established. The life prediction model can predict the residual life of the electric energy meter, expose the electric energy meter to potential failures and support the electric energy meter to be accurately replaced. In addition, it provides theoretical and data support for fast troubleshooting and fault priority handling.

Key words: ubiquitous power Internet of things; residual life prediction; electric energy meter; big data; life stress model

0 引言

智能电能表作为泛在电力物联网重要组成部分,已广泛应用于发电、输电、配电和用电各个环节,是电网实现双向实时计量、精准负荷控制、电力需求响应等功能的关键载体,同时作为数据发生单位,为泛在电力物联网源源不断的提供丰富的用电数据,成为物联网共享数据库的重要组成部分。目前,公司接入智能电能表等各类终端4.5亿台(套),采集数据日增量超过60 TB,承担着每年约6万亿kWh全社会用电量的计量,其性能与质量不仅直接影响电能交易的公平公正,也直接影响着大数据的准确和可靠。随着大批量智能电能表到检定周期年限,如按照JJG596—2012规定进行周期轮换,将不可避免造成大量未到使用寿命的批次电能表被更换,造成极大人力物力浪费,因此,亟待研究智能电能表的剩余寿命预判技术。

目前,评估电能表的预期寿命主要是建立特定寿命应力模型,通过加速或非加速应力测试,根据样本测试结果确定预期寿命^[1-3]。文献[4]分析了智能电能表的可靠性评估技术,提出了一种基于加速寿命试验和关键部件故障预判的可靠性预判方法。另外,文献[5]分析了各类电能表可靠性预计手册的特

点和局限性,总结出提高电能表可靠性的措施。

本文基于智能电能表的现场故障机理,分析了现场故障的可靠性数据源,对各平台共享大数据进行筛选清洗、故障分类统计、故障模式重新定义、性能退化特征提取、故障数据拟合等,同时,对典型的故障现象进行分析,定义了一些敏感应力建立电能表寿命预判模型。通过对不同批次、不同供应商的现场故障数据的分析,验证电能表寿命预判模型在预判未来1~2年的故障率方面是有效的。

1 电能表寿命预判工作流程

电能表寿命预判工作流程如图1所示,主要通过获取可靠性数据源,提取性能退化特征、故障数据拟合等建立电能表组合应力寿命预判模型,从而实现批次电能表寿命预判,支撑批次电能表状态精准更换^[6]。

2 故障数据分析

2.1 可靠性数据源

可靠性数据源主要包括省级计量中心生产调度系统(measurement of integrated production dispatching system, MDS)数据、用电信息采集系统数

收稿日期:2019-07-15;修回日期:2019-09-04

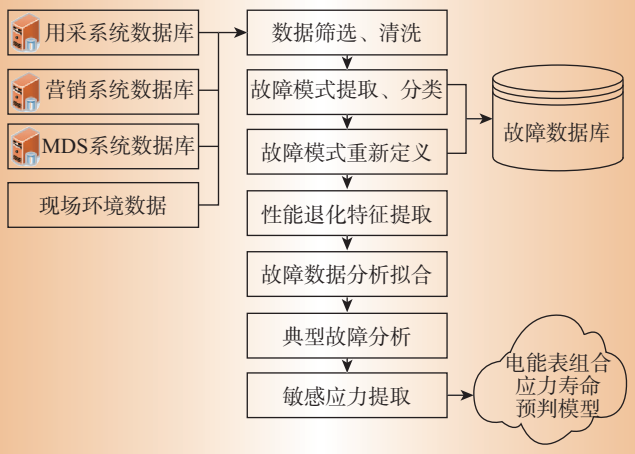


图1 电能表寿命预测工作流程

Fig. 1 The workflow of electric energy meter life prediction

据、营销系统数据、电能表安装环境数据等互联平台产生的共享大数据。

(1) MDS系统数据

MDS系统记录了电能表批次信息,包括招标批次、到货批次、电能表型号、生产厂家、规约类型、批次数量,还记录了初始检定信息,包括外观、潜动、起动、初始基本误差、初始日计时误差等内容。可通过观察后续相关初始信息的变化情况推测电能表性能退化趋势。

(2) 用电信息采集系统数据

用电信息采集系统记录了电能表的相关运行信息,包括安装时间、安装地点、事件类异常时间、异常类型、抄表电量、月均用电量等数据。有些事件类异常信息并未真正反映电能表故障信息,应予以剔除。

(3) 营销系统数据

营销系统中记录了电能表的安装区域、现场故障时间、故障现象、故障模块等故障信息,可通过系统故障信息建立故障数据库。

(4) 电能表安装环境数据

通过查阅开放的气象历史数据库,获得相关区域的环境信息,包括温度、湿度、盐雾、雷电等数据,通过提取敏感应力与各类故障的相关性,可调整电能表组合应力寿命预测模型。

上述系统的电能表信息结合现场安装环境数据构成了电能表组合应力寿命预测模型的数据基础。

2.2 数据筛选、清洗

对MDS系统、用电信息采集系统、营销系统中采集的可靠性数据进行筛选、清洗。如对用电信息采集的各类事件信息通过核查机制确定真实性,如误报应予以剔除。另外,应对营销系统上报的故障类型予以进一步核实,同时,应剔除非电能表质量原因产生的故障。

2.3 故障模式重新定义

由于营销系统记录的故障信息及用电信息采集

集的事件类异常信息形式多样、故障描述不统一等问题,需对故障模式进行重新定义,重新定义后的故障类型共分为11类^[7],包括时钟故障、电池故障、烧表、表壳损坏或接线柱损坏、通讯故障、电流回路或继电器故障、电能表不工作、显示故障、误差超差、电能表报警及其它故障。以2018年某月份为例,电能表故障分布图具体如图2所示。

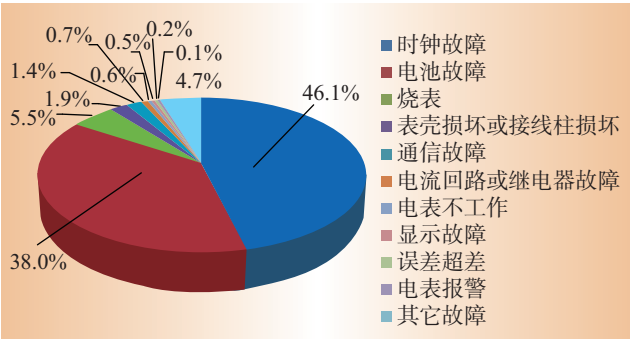


图2 电能表故障分布图

Fig. 2 The failure distribution map of electric energy meter

2.4 性能退化特征提取

电能表在现场运行过程中部分性能指标会有所退化,如基本误差、日计时误差等指标,如何提取批次退化性能对电能表寿命预测至关重要。以基本误差为例,本文设计了2种性能退化指标,分别为批次误差差值绝对值的平均值及批次误差标准偏差。

2.4.1 批次误差差值绝对值的平均值

当某电能表批次在某检定负载点下首检基本误差为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 拆回后检定基本误差为 $y_1, y_2, \dots, y_n$, 则该批次误差差值绝对值的平均值 Q 可表示为

$$Q = \frac{|x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + \dots + |x_n - y_n|}{n} \tag{1}$$

当功率因数为1时,电能表运行到检定周期拆回后的批次误差差值绝对值的平均值中位数如表1所示。

表1 批次误差差值绝对值的平均值中位数

Table 1 The median mean of absolute value of the batch error difference

批次误差差值绝对值的平均值中位数	2级电能表批次误差差值绝对值的平均值中位数	1级电能表批次误差差值绝对值的平均值中位数
$I_{\max}$	0.119 5	0.082 6
$0.5 I_{\max}$	0.118 4	0.099 4
I_b	0.101 5	0.079 4
$0.1 I_b$	0.105 4	0.083 1

2.4.2 批次误差标准偏差

当某电能表批次在某检定负载点下首检基本误差为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 拆回后检定基本误差为 $y_1, y_2, \dots, y_n$, 令 $k_1 = x_1 - y_1, k_2 = x_2 - y_2, \dots, k_n = x_n - y_n, \bar{k} = (k_1 + k_2 + \dots +$

$k_n)/n$,则该批次误差标准偏差 S 可表示为

$$S=\sqrt{\frac{(k_1-\bar{k})^2+(k_2-\bar{k})^2+...+(k_n-\bar{k})^2}{n-1}} \tag{2}$$

当功率因数为1时,电能表运行到检定周期拆回后各负载点下的批次误差标准偏差中位数如表2所示。

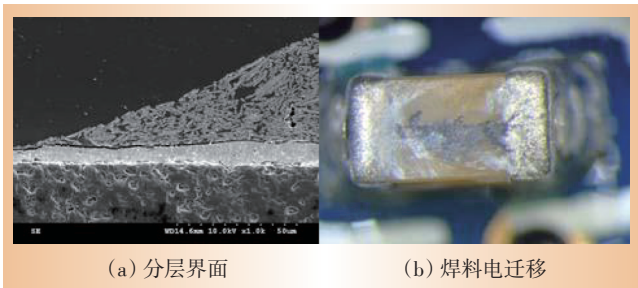
表2 批次误差标准偏差中位数
Table 2 The median value of batch error standard deviation

负载点	批次误差标准偏差中位数	2级电能表 批次误差标准偏差中位数	1级电能表 批次误差标准偏差中位数
I_{max}	0.117 1	0.137 3	0.070 2
$0.5 I_{max}$	0.105 4	0.119 0	0.075 2
I_b	0.094 8	0.101 4	0.074 4
$0.1 I_b$	0.098 1	0.107 5	0.076 7
$0.05 I_b$	0.081 0	0.102 9	0.074 6

批次误差差值绝对值的平均值及批次误差标准偏差值代表该批次电能表在运行时间内的误差变化情况,反映了该批次的误差稳定性,可作为误差性能退化特征指标。

2.5 典型故障分析

为确定电能表失效模式和机理,做好防控措施,防止该失效模式和机理的重复出现,需对电能表进行典型故障分析。该分析基于可靠性物理技术,深入到电子元器件级进行失效分析^[8]。图3分别给出了2种不同应力引起的典型故障情况。其中,图3(a)显示了由持续的温度冲击引起的银浆和金属化基底之间的分层界面,图3(b)显示了在电场下由高湿度引起的焊料电迁移的故障电容器。



(a) 分层界面 (b) 焊料电迁移

图3 典型故障分析案例

Fig. 3 The typical failure analysis cases

2.6 敏感应力分析

电能表不同故障模式的失效分布特征不同,诱发其失效的应力类型和退化过程也各有差异。对于具体的故障模式而言,电能表稳定可靠及性能退化可能与某种应力强度与该应力作用时间相关。基于电能表内部电路特点与现场典型故障分析,敏感应力与故障模式之间的对应关系如表3所示。

表3 敏感应力与故障模式对应关系

Table 3 Corresponding relationship between sensitive stress and failure mode

敏感应力	故障模式	影响机理
温度(高温)	时钟计时误差	晶振频率漂移
湿度	计量超差、飞走	电化学迁移、参数漂移
盐雾	计量超差、飞走	电化学迁移、腐蚀诱发失效
电负荷水平	电源故障、通信故障	过热烧毁、电源波动等

3 电能表寿命预判模型

通过采集MDS系统、用采系统、营销系统等平台中的共享大数据,获取不同应力条件下的基础信息、运行信息及故障信息,建立基于电能表整表的寿命预判模型,进而建立电能表分故障模式下的寿命预判模型,并根据批次历史故障数据,叠加温度、湿度、盐雾及雷电等应力因素,拟合应力调整因子,从而建立电能表组合应力寿命预判模型。电能表寿命预判模型实现流程如图4所示。

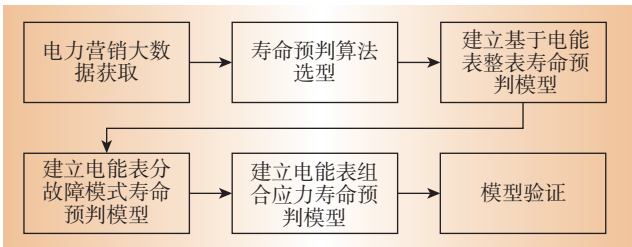


图4 电能表寿命预判模型实现流程

Fig. 4 The realization process of life prediction model for electric energy meter

3.1 寿命预判算法

电能表寿命预判算法较多,主要有类神经网络、最近邻算法、支持向量机等算法,本文提出了一种基于威布尔分布的电能表寿命预判模型,威布尔分布假设一个结构是由若干小元件串联而成,其强度取决于最薄弱环节的强度,即失效发生在产品构成因素中的最弱部分。电能表同样由若干元器件及模块构成,因此其寿命预判适用于威布尔分布。目前,威布尔分布已广泛应用于汽车电子及航空工业领域中可靠性剩余寿命分析。

3.2 电能表组合应力寿命预判模型

首先,应建立基于威布尔分布的电能表整表寿命预判模型,其流程如图5所示。

根据本文前述对故障模式的分类,拟合各类故障模式下的基于威布尔分布的失效率曲线,假设各故障模式下的阶段失效率为 $\lambda_i(t)$,故障类型总数为 n ,则电能表整体阶段失效率 $\lambda_w(t)$ 为

$$\lambda_w(t)=\lambda_1(t)+\lambda_2(t)+\cdots+\lambda_n(t)=\sum_{i=1}^n\lambda_i(t) \tag{3}$$



图5 基于威布尔分布的电能表整表寿命预测模型

Fig. 5 The life prediction model of electric energy meters based on Weibull distribution

根据表3敏感应力与故障模式对应关系,拟合相关故障模式的阶段失效率与平均应力强度之间的关系,可获取各应力条件下的应力调整因子 k ,则基于电能表组合应力寿命预测模型的整体阶段失效率 $\lambda_s(t)$ 为

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{ij} \lambda_i(t) \quad (4)$$

式中: m 为敏感应力类型总数,主要包括温度、湿度、盐雾及雷电等。

3.3 电能表组合应力寿命预测模型验证

利用基于威布尔分布的电能表组合应力寿命预测模型,对2011年到货的A电能表厂家某批次电能表进行失效率预测,预测结果如图6所示。

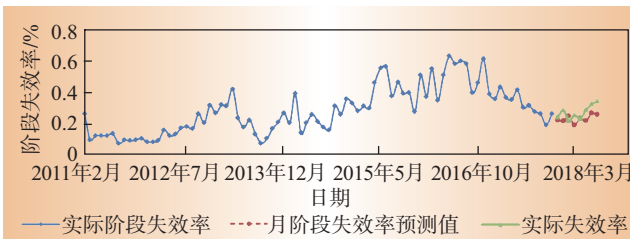


图6 基于威布尔分布的电能表组合应力寿命预测验证

Fig. 6 The verification of stress life prediction model of electric energy meter based on Weibull distribution

由图6可知,基于威布尔分布的电能表组合应力寿命预测模型能较好地预测批次电能表失效率,预测失效率与实际失效率较为接近。

4 结束语

本文基于电能表MDS系统、用采系统、营销系统等平台的共享数据,通过重新定义故障类型,分析典型故障原因,提取性能退化特征及敏感应力,建立基于威布尔分布的电能表组合应力寿命预测模型,并用现场故障数据进行实际验证,效果较好。电能表寿命

预测有助于实现电网公司电能表需求的精准预测,提前制定招标采购计划;同时,将极大有助于电能表现场维护工作,为电能表状态更换提供技术支撑。D

参考文献:

- [1] 鲍进,周超,田正其,等.高加速寿命试验在智能电能表可靠性研究中的应用[J].电测与仪表,2014,51(19):17-23.
BAO Jin, ZHOU Chao, TIAN Zhengqi, et al. The application of highly accelerated life test in smart electricity meter reliability study[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(19):17-23.
- [2] 范小飞,王波,田园,等.电子式电能表可靠性预计系统的研制[J].电测与仪表,2015,52(11):15-19.
FAN Xiaofei, WANG Bo, TIAN Yuan, et al. Development of reliability prediction system for electronic power meter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2015, 52(11):15-19.
- [3] 巨汉基,郭丽娟,刘延泉,等.基于元器件应力法的智能电能表可靠性研究与应用[J].电测与仪表,2013(Z1):7-15.
JU Hanji, GUO Lijuan, LIU Yanquan, et al. Intelligent electric energy meter reliability prediction research and application based on the component stress method[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013(Z1):7-15.
- [4] 罗冉冉,左嘉,田成明,等.电子式电能表的可靠性评估方法研究[J].电测与仪表,2013(Z1):1-6.
LUO Ranran, ZUO Jia, TIAN Chengming, et al. Research on reliability evaluation methods of electrical meter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013(Z1):1-6.
- [5] 袁金灿,马进,王思彤.智能电能表可靠性预计技术[J].电力自动化设备,2013,33(7):161-166.
YUAN Jincan, MA Jin, WANG Sitong. Reliability prediction technology of intelligent electric energy meter[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(7):161-166.
- [6] YAO Li, HU Yingjun, ZHANG Jiangming, et al. Short-term life prediction based on field reliability and combined life stress model[C]//18th International Conference on Electronic Packaging Technology, 2017:1381-1384.
- [7] 李珏焯.单相智能电能表故障模式及影响分析[D].北京:华北电力大学,2012.
LI Juequan. Failure modes and effects analysis(FMEA) in single-phase smart electricity meters[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [8] 胡瑛俊,姚力,吴幸.智能电能表主要故障分析与对策[J].浙江电力,2015(3):23-26.
HU Yingjun, YAO Li, WU Xing. Main faults analysis and countermeasures for smart meters[J]. Zhejiang Electric Power, 2015(3):23-26.

作者简介:

吴建平(1989),男,浙江绍兴人,工程师,主要从事电力营销、电能计量管理工作;

廖绍成(1972),男,浙江绍兴人,硕士研究生,高级工程师,主要从事电能计量研究及检测工作;

曹君波(1986),男,浙江绍兴人,工程师,主要从事电力营销、电能计量管理工作。

(责任编辑 李雅超 邵海雯)